

Université de Montréal

La plateforme Bubbles : un outil d'investigation des différences individuelles de stratégies de reconnaissance de l'identité de visages

par Solène Fourdain

sous la direction de Frédéric Gosselin

Mémoire présenté au Département de Psychologie et à la Faculté des Arts et des Sciences
en vue de l'obtention du grade de M.Sc en Psychologie

Décembre 2014

© Solène Fourdain, 2014

Résumé

L'objectif de cette recherche est la création d'une plateforme en ligne qui permettrait d'examiner les différences individuelles de stratégies de traitement de l'information visuelle dans différentes tâches de catégorisation des visages. Le but d'une telle plateforme est de récolter des données de participants géographiquement dispersés et dont les habiletés en reconnaissance des visages sont variables. En effet, de nombreuses études ont montré qu'il existe de grande variabilité dans le spectre des habiletés à reconnaître les visages, allant de la prosopagnosie développementale (Susilo & Duchaine, 2013), un trouble de reconnaissance des visages en l'absence de lésion cérébrale, aux super-recognizers, des individus dont les habiletés en reconnaissance des visages sont au-dessus de la moyenne (Russell, Duchaine & Nakayama, 2009). Entre ces deux extrêmes, les habiletés en reconnaissance des visages dans la population normale varient.

Afin de démontrer la faisabilité de la création d'une telle plateforme pour des individus d'habiletés très variables, nous avons adapté une tâche de reconnaissance de l'identité des visages de célébrités utilisant la méthode *Bubbles* (Gosselin & Schyns, 2001) et avons recruté 14 sujets contrôles et un sujet présentant une prosopagnosie développementale. Nous avons pu mettre en évidence l'importance des yeux et de la bouche dans l'identification des visages chez les sujets « normaux ». Les meilleurs participants semblent, au contraire, utiliser majoritairement le côté gauche du visage (l'œil gauche et le côté gauche de la bouche).

Mots clés : identification des visages, Bubbles, prosopagnosie développementale, super-recognizers, image de classification, cognition visuelle, traitement des visages

Abstract

The present study aims to create a web-based platform that would examine individual differences in face processing strategies in different categorization tasks. The purpose of this platform is to collect data from geographically dispersed participants with variable face recognition abilities. Indeed, many studies have shown that there is high variability in the spectrum of face recognition ability, ranging from developmental prosopagnosia (Duchaine & Susilo, 2013), a disorder of face recognition in the absence of brain damage, to super-recognizers, individuals with extraordinary face recognition ability (Russell, Duchaine & Nakayama, 2009). Between these extremes, people vary substantially in their ability to recognize faces.

To demonstrate the reliability of creating such a platform for individuals of widely varying abilities, we adapted a recognition task of the identity of famous faces using the *Bubbles* method (Gosselin & Schyns, 2001) and recruited 12 control subjects and a subject with developmental prosopagnosia. We were able to highlight the importance of the eyes and the mouth in face identification. The best observers seem mostly to use the left side of the face (left eye and the left side of the mouth).

Key words: recognizing facial identity, Bubbles, developmental prosopagnosia, super-recognizers, classification image technique, visual cognition, face processing

Table des matières

Résumé	ii
Abstract	iii
Table des matières	iv
Remerciements	v
Introduction	1
Méthodologie	14
Discussion	24
Références	34

Remerciements

Je tiens à remercier mon directeur de recherche, Frédéric Gosselin, pour m'avoir donné l'opportunité de travailler sur un projet si passionnant. Merci pour ta grande disponibilité et pour le temps que tu m'as accordé. Merci de m'avoir fait confiance et de m'avoir permis d'apprendre tant de choses. Enfin merci pour ton incroyable soutien, à la fois financier et dans mes futurs projets.

Un énorme merci à Xavier Morin-Duchesne de s'être autant impliqué dans la programmation de l'expérience et d'avoir été si disponible pour effectuer de nombreuses modifications. Merci également d'avoir si souvent répondu à mes questions.

Merci à mes collègues de laboratoire, particulièrement Alexandre, Laurent, Nicolas et Simon, pour leur aide et leur bonne humeur. Vous avez contribué à rendre cette expérience agréable.

Enfin merci à Etienne d'avoir accepté sans se plaindre les nombreuses heures de testing. Merci pour ton soutien inconditionnel.

Introduction

Reconnaître le visage d'un collègue dans la rue ou estimer l'âge d'un inconnu sont des processus presque instantanés qui ne demandent quasiment aucun effort conscient. En effet, il ne suffit que de 200 ms pour catégoriser un visage grâce à ses caractéristiques (Fiset & Gosselin, 2009). Il est alors possible de déterminer l'âge, la race, le genre ou l'état émotionnel de la personne, voire même son nom lorsqu'il s'agit d'un visage familier. Ces informations extraites de la perception des visages nous permettent de construire des interprétations du monde social et sont nécessaires à des interactions sociales adéquates.

Plusieurs études montrent que la reconnaissance des visages présente un aspect inné. Nelson (2001), suggère que les enfants possèdent, dès la naissance, des habiletés de traitement des visages (à la fois humains et d'autres espèces), sous-tendues par des mécanismes neuronaux spécifiques. Dans les 8 premières semaines, l'attention du nourrisson se porte sur les attributs externes du visage. Après 8 semaines, l'attention se déplace vers les attributs internes (sourcils, yeux, nez et bouche) qui deviennent des informations pertinentes pour la reconnaissance des visages (Duchaine & Nakayama, 2005). Pascalis, de Haan & Nelson (2002) affirment qu'une spécialisation pour la catégorisation des visages humains s'opère après le 6^e mois, au détriment de la catégorisation des visages d'autres espèces. Cette spécialisation s'accompagne d'une spécialisation de certains tissus neuronaux. Dès les premiers mois, le cortex infero-temporal droit, plus précisément le gyrus fusiforme, se distingue par son activation dans les tâches de perception et de reconnaissance des visages (Nelson, 2001). Les aires anatomiques dédiées à la reconnaissance des visages sont en étroite connexion avec les aires des émotions et de la

mémoire. Ainsi, l'homme présente une spécialisation dans la catégorisation du visage selon son âge, son sexe et sa race, mais il est également capable d'associer des souvenirs ou des émotions à un visage particulier.

L'homme est un être social et les processus de traitement des visages sont impliqués dans quasiment toutes les situations quotidiennes. La reconnaissance et la catégorisation des visages sont indispensables à l'interaction sociale. Une personne serait très mal à l'aise en société, si elle ne pouvait estimer l'âge d'un interlocuteur, connaître son genre, analyser ses expressions faciales, ou déterminer si un visage est familier ou non. De plus, des déficits dans le traitement des visages ont été mis en évidence dans les pathologies présentant des troubles des interactions sociales, telles que la schizophrénie ou les troubles du spectre de l'autisme (Harms, Martin & Wallace, 2010), preuve que la perception des visages est cruciale pour l'homme.

K. A. est une chercheuse qui reconnaît avoir des difficultés à reconnaître et mémoriser les visages, en l'absence de lésion cérébrale ou trouble neurologique. Il arrive souvent à K. A. de confondre deux personnes entre elles si ces deux personnes ont des coupes de cheveux similaires. Elle admet également ne pas reconnaître son fils après que celui-ci soit allé chez le coiffeur. De plus, lorsqu'il s'agit de juger de l'attractivité d'une personne, K. A. a tendance à ne pas s'attarder sur les caractéristiques faciales. C'est seulement lorsque, dans sa pratique de recherche, elle a été amenée à passer des tests psychologiques d'apprentissage des visages, qu'elle s'est rendu compte qu'elle était incapable d'encoder de nouveaux visages même après des dizaine d'heures de pratique, alors que d'autres ne nécessitent que quelques minutes.

K. A. souffre de prosopagnosie développementale, un trouble neurodéveloppemental caractérisé par un déficit sévère de la reconnaissance des visages, malgré une vision de bas niveau normale et un QI dans la moyenne, et résultant d'un échec de développement des mécanismes de traitement des visages (Duchaine & Nakayama, 2006b ; Duchaine, Murray, Turner, White & Garrido, 2010). En 1976, McConachie était le premier à décrire un cas de prosopagnosie développementale, mais depuis les années 2000, les recherches sur le sujet se sont largement développées. Bien que la prosopagnosie développementale apparaisse comme un trouble rarissime, une estimation récente de sa prévalence suggérerait qu'environ 2% de la population souffre d'un tel trouble (Duchaine, 2011).

Duchaine, Germine & Nakayama (2007), diagnostiquent des troubles sévères de la reconnaissance des visages chez 10 membres d'une même famille, en l'absence de tout autre trouble cognitif ou trouble de la vision. Ils mettent ainsi en évidence une composante génétique qui affecte de manière spécifique le développement des mécanismes neurocognitifs de reconnaissance des visages. Une deuxième évidence de l'existence d'une composante génétique, est la présence d'habiletés plus basses que la moyenne en reconnaissance des visages chez les individus non-prosopagnosique appartenant à cette même famille, donc porteur d'une partie du gène responsable du développement anormal des mécanismes de traitement des visages.

Des études plus récentes montrent qu'il existe des individus dont les habiletés de reconnaissance des visages sont au dessus de la moyenne. Il s'agit des *super-recognizers*, dont la mémoire des visages et de leurs caractéristiques est significativement supérieure à la population normale (Russell, Duchaine & Nakayama, 2009). En fait, il semblerait que la distribution des habiletés de

reconnaissance des visages dans la population suit une courbe normale : les super-recognizers se situent à 2 ou 3 écart-types au-dessus de la moyenne alors que les prosopagnosiques développementaux se situent à 2 ou 3 écart-types au-dessous. Entre ces deux critères (-2 et +2 écart-types), les habiletés en reconnaissance des visages varient et les individus sains peuvent être plus ou moins performants.

S'il existe des différences dans la performance à une tâche de catégorisation des visages alors qu'il s'agit d'un processus en partie génétique et que la région cérébrale qui lui est dédiée est constante dans la population, ces différences doivent se situer au niveau de la stratégie visuelle utilisée. Plusieurs informations sont à notre disposition pour permettre une catégorisation des visages, notamment les six attributs internes des visages : les sourcils, les yeux, le nez et la bouche. Depuis 2001, le protocole *Bubbles* (Gosselin & Schyns, 2001) permet d'étudier ces stratégies visuelles efficaces pour la catégorisation des visages. En manipulant la quantité d'information disponible dans un stimulus - grâce à l'ajout de bulles gaussiennes révélant une partie de l'information visuelle - *Bubbles* permet de déterminer les régions informatives qui, lorsqu'elles sont révélées, conduisent à une bonne réponse à une tâche demandée (i.e. reconnaissance du genre, identification, etc.).

Des différences de stratégies ont été observées dans les pathologies présentant des troubles des interactions sociales. Spezio, Adolphs, Hurley & Piven (2006) ont mis en évidence une sous-utilisation de l'information contenue dans les yeux pour la reconnaissance des expressions faciales chez des adultes autistes de haut niveau. De plus, les patients schizophrènes ont besoin de plus d'informations et utilisent des régions différentes que les sujets contrôles pour reconnaître

les expressions faciales (Lee, Gosselin, Wynn & Green, 2011 ; Clark, Gosselin & Goghari, in press). Les performances et les stratégies visuelles varient également dans la population saine. Blais, Fiset, Roy, Arguin & Gosselin (en préparation), montrent qu'une différence de stratégie est associée à une différence de performances dans une tâche de catégorisation des expressions faciales. En effet, les individus ayant obtenu les meilleures performances à la tâche de catégorisation des expressions faciales utilisent de façon majoritaire l'information contenue dans les yeux (et particulièrement l'œil gauche), alors que la bouche semble être également utilisée par l'ensemble des participants. Bien que les yeux soient souvent représentés comme la zone la plus expressive, il semblerait qu'elle ne soit pas la région la plus diagnostique pour reconnaître les émotions. Blais, Roy, Fiset, Arguin & Gosselin (2012) montrent que la région de la bouche est en fait celle qui contient l'information pertinente pour la reconnaissance des émotions basiques, à la fois pour les visages statiques et en mouvement.

Si la majorité des études portent sur des tâches de reconnaissance des émotions, il existe des données sur les stratégies individuelles aux tâches d'identification des visages. Grâce au protocole *Bubbles*, Schyns, Bonnar & Gosselin (2002) mettent en évidence l'utilisation par les participants de l'information contenue dans les yeux et la bouche pour la reconnaissance de l'identité des visages (*C.f. : Figure 1 – B*). Caldara, Schyns, Mayer, Smith & Gosselin (2005) trouvent des résultats similaires : les yeux et la bouche sont les régions les plus utilisées pour identifier correctement un visage familier (*C.f. : Figure 1 - C*). Ainsi, dans ces régions, la probabilité est élevée de retrouver des informations particulièrement diagnostiques pour la reconnaissance de l'identité. Une stratégie optimale pour catégoriser un visage selon son identité serait donc de porter son attention majoritairement sur la région des yeux et de la bouche. Au

contraire, l'étude de Butler, Blais, Gosselin, Bub & Fiset (2010) présente des résultats légèrement différents. Dans cette étude, les auteurs ont reproduit des conditions expérimentales plus écologiques en échantillonnant des visages de célébrités, ne nécessitant donc pas d'apprentissage préalable. Il apparaît que la région des yeux et des sourcils est fortement corrélée avec une bonne identification des visages (*C.f. : Figure 1 – A*). Contrairement aux deux études précédentes, dans cette étude, la corrélation entre l'utilisation de l'information contenue dans la région de la bouche et les bonnes identifications des visages de célébrités n'apparaît que pour les fréquences spatiales moyennes. Les auteurs estiment que ces incompatibilités dans les résultats indiquent que les processus écologiques de traitement des visages allouent une plus grande importance à la région des yeux qu'à celle de la bouche. Ainsi, dans des conditions écologiques, les yeux deviennent la région contenant le plus d'information pour reconnaître l'identité d'un visage.

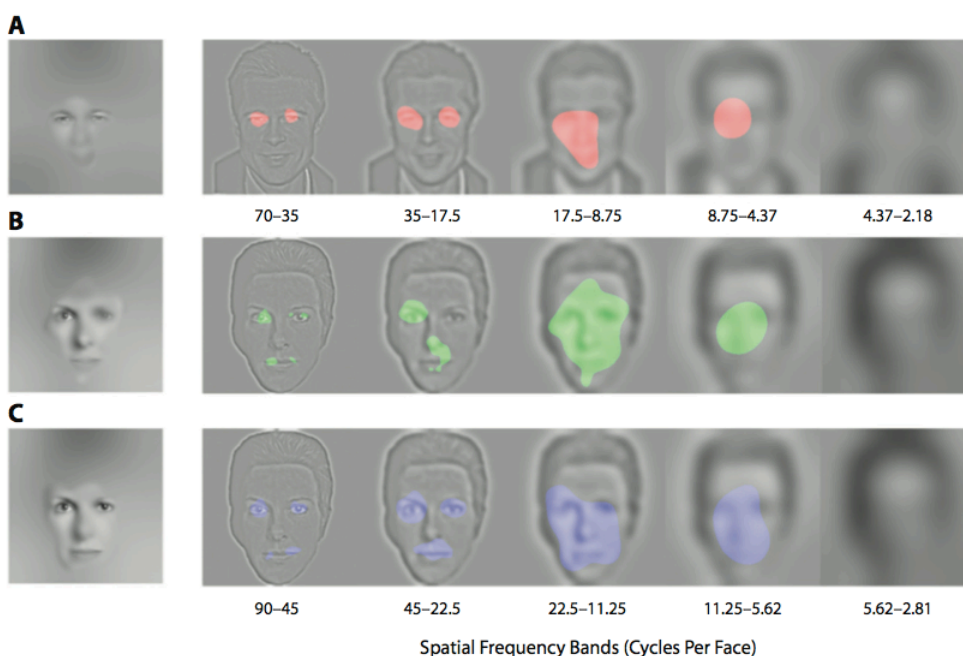


Figure 1. Information visuelle efficacement utilisée pour reconnaître l'identité des visages dans l'étude de Butler et al. (2010) (A), dans l'étude de Schyns et al. (2002) (B) et dans l'étude de Caldara et al. (2005) (C).

En utilisant le protocole *Bubbles*, Caldara et al. (2005) ont également investigué les mécanismes de reconnaissance des visages d'une patiente (P.S.) devenue prosopagnosique suite à une lésion occipito-temporale droite. Il apparaît que la reconnaissance de l'identité des visages chez cette patiente diffère de celle des sujets sains, à la fois sur le plan quantitatif et sur le plan qualitatif. Sur le plan quantitatif, la patiente nécessite un plus grand nombre d'informations pour atteindre les mêmes performances que les sujets sains (i.e. un plus grand nombre de bulles). Sur le plan qualitatif, les informations qu'elle utilise pour reconnaître l'identité des visages diffèrent de celles utilisés par les sujets contrôles : P.S. utilise majoritairement la partie basse du visage (i.e. la bouche et le menton) pour identifier les visages familiers (*C.f. : Fig 2 – image de gauche*). P.S. n'est donc pas en mesure d'utiliser la stratégie optimale – extraire l'information contenue dans les yeux – ce qui serait à l'origine de ses difficultés à mémoriser et reconnaître l'identité des visages.

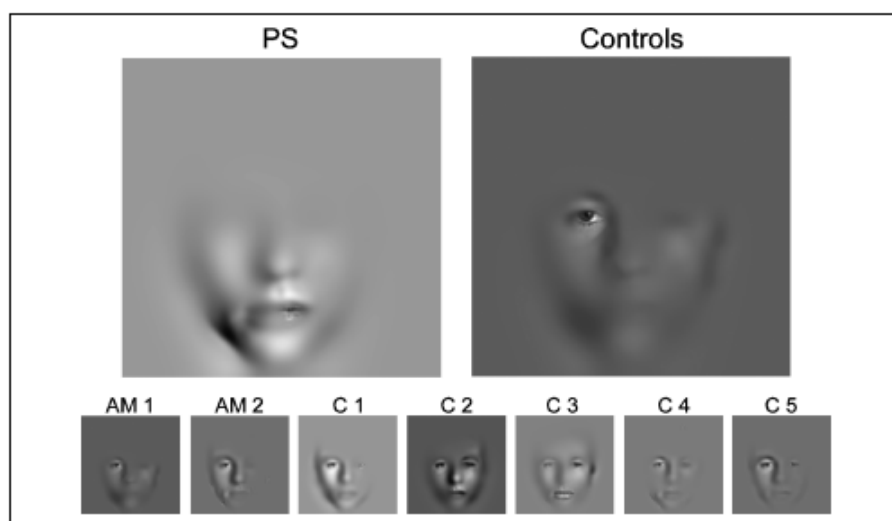


Figure 2. Comparaison des régions efficacement utilisées pour reconnaître l'identité d'un visage familier chez une participante prosopagnosique (PS) et chez les sujets contrôles. Caldara et al. (2005).

Le protocole *Bubbles* permet également d'investiguer le rôle des différentes fréquences spatiales dans le traitement des visages. En effet, en fonction des tâches à réaliser, la proportion d'information utilisée dans chaque bande de fréquence spatiale ainsi que la région dans laquelle se situe l'information utilisée varient. En décomposant le visage en 5 bandes de fréquences spatiales, Schyns et al. (2002) observent que pour réaliser une tâche d'identification des visages, la bande de fréquence la plus utilisée (i.e. celle contenant la plus grande proportion d'information utile) est la bande de fréquence du milieu, contenant des informations de fréquence moyenne (*C.f. : Fig 3*). Des résultats similaires sont obtenus dans les études de Caldara et al. (2005) et de Butler et al. (2010) : la bande de fréquence moyenne apparaît comme celle contenant les informations les plus diagnostiques pour identifier un visage. Cependant, pour l'étude de Butler et al. (2010), le pic médian de fréquences spatiales utilisée est légèrement plus bas, ce qui suggère que lorsque les stimuli sont présentés de manière répétitive – comme dans les études de Schyns et al. (2002) et de Caldara et al. (2005) – les participants développent des stratégies de traitement des visages basées sur les images et donc sur des fréquences spatiales plus fines (*C.f. : Figure 3*).

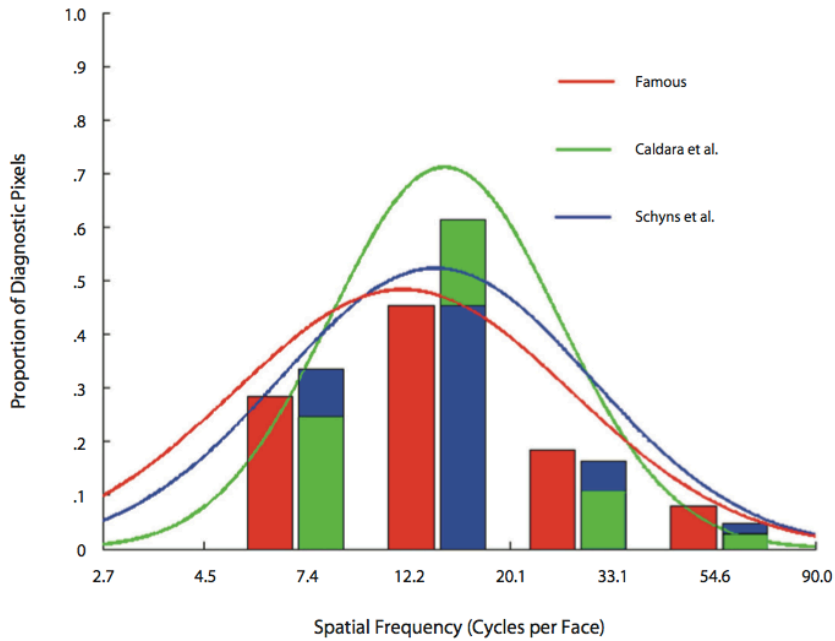


Figure 3. Comparaison de l'information spatiale efficacement utilisée dans l'étude Famous de Butler et al. (2005), l'étude de Caldara et al. (2005) et l'étude de Schyns et al. (2002).

Les auteurs observent également un changement qualitatif de l'information utilisée en fonction des fréquences spatiales : dans les études de Schyns et al. (2002) et de Caldara et al. (2005), la bouche ainsi que les yeux, apparaissent corrélés avec une bonne identification des visages dans toutes les bandes de fréquences spatiales (*C.f. : Figure 1 –B*). Au contraire, Butler et al. (2010) n'observent de corrélation entre l'utilisation de la bouche et l'exactitude des identifications que pour la bande de fréquence moyenne (*C.f. : Figure 1 –A*). Enfin, il semble que P.S. utilise majoritairement les informations contenues dans la bande de fréquences spatiales la plus haute et que c'est uniquement l'information de la région de la bouche qu'elle utilise quelle que soit la fréquence (*C.f. : Figure 4*).

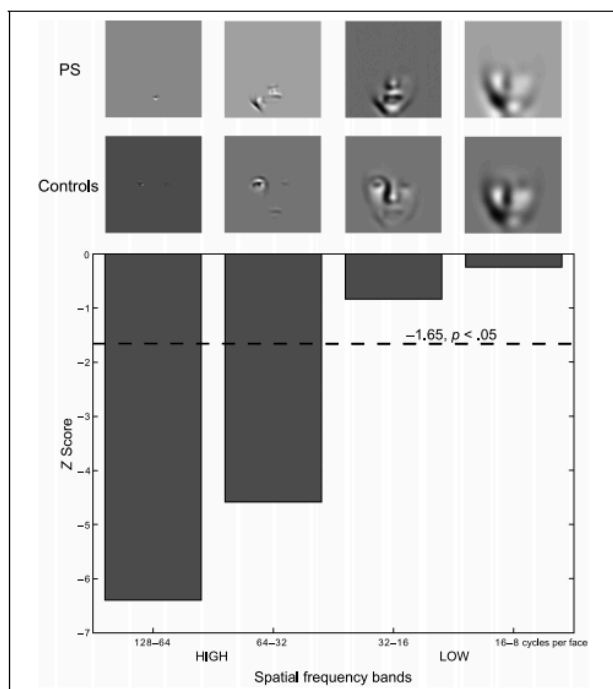


Figure 4. Information diagnostique utilisée pour résoudre la tâche d'identification des visages à chaque bande de fréquences spatiales (en haut et au milieu). Distribution des scores Z dans l'utilisation des différentes bandes de fréquences spatiales par P.S. (en bas). Caldara et al. (2005).

Construire une tâche unique qui permettrait d'examiner les stratégies d'extraction de l'information pour la reconnaissance des visages dans des populations dont les habiletés sont très variables (de la prosopagnosie développementale aux super-recognizers) relève du défi. Dans la majorité des études utilisant *Bubbles* et visant à déterminer les informations diagnostiques pour l'identification des visages, l'expérience principale était précédée d'une étape de familiarisation avec un petit ensemble de visages (généralement 10). La phase d'apprentissage prenait fin lorsque les participants identifiaient correctement tous les visages à deux reprises consécutives. Un tel apprentissage est relativement rapide pour les participants contrôles : dans l'étude de Caldara et al. (2005), les participants contrôles n'ont eu besoin que de 10 minutes, en moyenne, pour apprendre correctement l'identité des visages. Au contraire, P.S. a nécessité 3 heures d'entraînement pour atteindre ce même critère. De plus, avant chaque session

d'expérimentation avec *Bubbles*, il était nécessaire de s'assurer à nouveau que P.S. respectait ce critère de vérification. Deux limites peuvent être adressées à cette méthode : en plus de la variabilité du temps de testing pour les différentes populations, cet apprentissage est susceptible de ne pas représenter les situations écologiques. Étant donné le nombre restreint de stimuli, il est possible que les participants aient appris à reconnaître les visages grâce à des signes distinctifs. La reconnaissance serait donc basée davantage sur l'image plutôt que sur le visage en tant que tel. Conscients que la procédure expérimentale peut influencer les stratégies de reconnaissance des visages, Butler et al. (2010) ont développé un nouveau protocole pour limiter les biais d'expérimentation. Afin d'éviter aux participants d'apprendre de nouveaux visages et pour reproduire au maximum les demandes cognitives de la vie quotidienne (i.e. reconnaître un visage parmi une banque de milliers de visages familiers stockés en mémoire), les stimuli visuels échantillonnés par *Bubbles* sont des visages de célébrités. Cette méthode amène plusieurs avantages : la suppression de la phase de familiarisation avec les visages et la possibilité d'utiliser un plus grand nombre de stimuli. Si cette méthode est adéquate pour l'étude des stratégies d'utilisation de l'information dans des populations dont les habiletés sont « normales », nous verrons dans la discussion qu'elle n'est pas utilisable avec des populations dont les performances sont faibles, tels que les prosopagnosiques développementaux.

Le but de la présente étude est la création d'une plateforme en ligne qui permettrait d'examiner les différences individuelles de stratégies de traitement de l'information visuelle dans différentes tâches de catégorisation des visages. Le but d'une telle plateforme est de récolter des données de participants géographiquement dispersés et dont les habiletés en reconnaissance des visages sont variables (de la prosopagnosie développementale aux super-recognizers).

Afin de montrer la faisabilité de la création d'une telle plateforme, nous avons adapté la tâche de reconnaissance de l'identité des visages de célébrités de Butler et al. (2010). L'Objectif secondaire est d'utiliser cette plateforme en ligne pour déterminer les stratégies visuelles efficaces utilisées par une population de participants « normaux », à l'intérieur de laquelle il existe une variabilité des habiletés en reconnaissance des visages, dans une tâche d'identification de visages de célébrités et de les comparer à la stratégie utilisée par un participant présentant une prosopagnosie développementale.

Suite aux résultats des études précédentes, il nous est possible d'émettre des hypothèses spécifiques sur les stratégies de reconnaissance de l'identité des visages de célébrités. Nous émettons l'hypothèse que les participants « normaux » obtiendront en moyenne de meilleures performances que la participante présentant une prosopagnosie développementale, c'est-à-dire qu'ils reconnaîtront un plus grand nombre de célébrités dans les tâches préliminaires et nécessiteront une plus petite quantité d'information pour réaliser correctement la tâche d'identification *Bubbles*. Sur le plan qualitatif, nous pensons que les participants « normaux » utiliseront de façon majoritaire l'information contenue dans les yeux alors que la participante prosopagnosique utilisera plutôt l'information contenue dans la région de la bouche. Nous nous attendons à ce que la participante prosopagnosique utilise davantage les hautes fréquences spatiales alors que les participants « normaux » devraient utiliser davantage les basses fréquences spatiales. A l'intérieur du groupe « normal », nous croyons que les participants utiliseront d'autant plus l'information contenue dans les yeux en basses fréquences spatiales que leurs performances seront bonnes. Nous verrons également que nous n'avons pas été en mesure d'obtenir de données à l'expérience *Bubbles* pour la participante prosopagnosique, mais nous

démontrerons que la plateforme *Bubbles* est un outil adéquat permettant d'examiner les différences individuelles de stratégies de traitement de l'information visuelle dans une tâche d'identification des visages de célébrités.

Méthodologie

Tests. Le *Cambridge Face Memory Test* (CFMT, Duchaine & Nakayama, 2006), un test standardisé de mémorisation et de reconnaissance des visages. Les scores des participants à ce test dépendent à la fois de leurs capacités perceptives et mnémoniques des visages. Le *Cambridge Face Perception Test* (CFPT, Duchaine, Germine & Nakayama, 2007) est une tâche de perception de l'identité des visages, qui consiste à ordonner 6 visages par ordre de ressemblance avec un visage cible. Ce procédé minimise la demande cognitive de mémoire et permet d'extraire la performance en perception visuelle des visages.

Participants. Quatorze sujets « normaux » (10 femmes ; $M_{\text{âge}} = 23,64$; $SD = 4,99$), recrutés à l'Université de Montréal, ont participé à cette étude. Tous les participants avaient une vision normale ou corrigée à la normale et ont reçu une compensation financière de 45\$ pour leur participation à l'étude. Lors d'une première rencontre au laboratoire, le CFMT et le CFPT leur ont été administrés. Les participants ont obtenu en moyenne 58,14 sur 72 au CFMT (46-72 ; $SD = 8,43$) et se situent donc dans la norme en terme d'habiletés en mémorisation des visages (Duchaine & Nakayama, 2006). Les scores des participants au CFPT montrent un robuste effet d'inversion des visages, avec une moyenne de 30,00 erreurs aux items à l'endroit (16-92 ; $SD = 20,55$) et 59,00 erreurs aux items inversés (44-94 ; $SD = 14,18$). Cet effet est une évidence supplémentaire que leurs habiletés en reconnaissance des visages se situent dans la norme.

N.E. est une participante présentant une prosopagnosie développementale (âge = 34), en l'absence de tout antécédent de lésion cérébrale et de trouble de la vision, et recrutée par le biais du site www.faceblind.org. Plusieurs tests lui ont été administrés afin de confirmer un déficit

significatif pour la reconnaissance des visages : le *Cambridge Face Memory Test* (Duchaine & Nakayama, 2006), un test de discrimination old/new (Duchaine & Nakayama, 2005) et un test de reconnaissance de célébrités (Bentin, DeGutis, D'Esposito, Robertson, 2007). N.E. a obtenu des scores de 2 écart-types, ou plus, en dessous de la moyenne à au moins deux de ces trois tests, confirmant ainsi d'importants déficits en reconnaissance des visages.

Stimuli. Les stimuli sont obtenus à partir de 100 visages de célébrités locales (50 femmes ; 55 avec une expression de joie, 45 avec une expression neutre) issus de la banque de données de Butler, Blais, Gosselin, Bub & Fiset (2010) et présentés en niveaux de gris. La luminance et le contraste des images ont été normalisés grâce à l'outil *SHINE Toolbox* (Willenbockel et al., 2010). Les visages ont été alignés grâce à l'outil *Align Toolbox* (Taschereau-Dumouchel et al., 2010) afin que chacun des six attributs internes se situe à peu près aux mêmes coordonnées spatiales d'un visage à l'autre. Pour la moitié des essais, une symétrie axiale verticale est effectuée sur les images afin de contrôler la luminosité ainsi que la quantité d'information de chaque côté du visage. La résolution des images est de 256 x 256 pixels. Un masque de forme ellipsoïde est ajouté et permet de masquer l'information externe au visage. Pour créer un stimulus expérimental, chaque visage est décomposé en 6 bandes de fréquences spatiales d'une octave chacune (de la plus fine à la plus grossière 85.3–42.7, 42.7–21.3, 21.3–10.6, 10.6–5.3, 5.3–2.6 cycles par visage). La dernière bande, ne contenant que des informations de très basses fréquences, est utilisée comme fond et n'est pas échantillonnée. Les bulles (fenêtres gaussiennes à travers lesquelles l'information est visible) sont ensuite appliquées de manière aléatoire à chacune des 5 échelles de fréquences, ne laissant transparaître qu'une partie de l'information visuelle. Plus la bande est constituée de fréquences élevées, plus les bulles gaussiennes sont

petites et nombreuses. Le nombre de bulles est donc ajusté pour que la quantité totale d'information révélée par échelle de fréquence soit maintenue constante à 3 cycles par visage. Le stimulus expérimental est obtenu en faisant la somme de l'information échantillonnée par les fenêtres gaussiennes pour chaque bande de fréquence (*C.f. : Figure 5*).

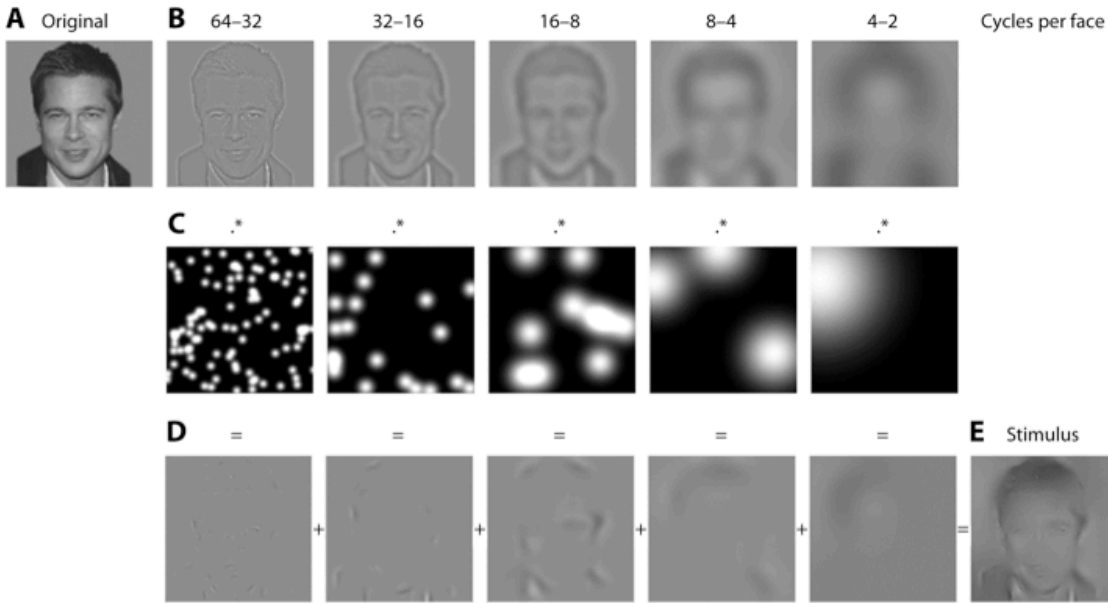


Figure 5. Illustration de la création d'un stimulus expérimental. L'image (A) est décomposée en 6 bandes de fréquences spatiales (B), la bande contenant les fréquences les plus basses n'est pas échantillonnée. Les bulles aléatoirement positionnées (C) sont additionnées à chaque bande de fréquence (D). Le stimulus expérimental (E) est obtenu par la somme de chacune des bandes de fréquences échantillonnées.

Procédure. L'expérience *Bubbles* s'effectue en ligne et a été programmée par Xavier Morin-Duchesne, en utilisant un mélange de HTML, PHP et Javascript. Les données des participants sont administrées grâce à MySQL databases. Avant de débiter l'expérience, les participants doivent se créer un compte sur la plateforme et confirmer leur volonté de participer à l'étude en cliquant sur le lien contenu dans le courriel de confirmation qui leur est envoyé. L'expérience principale est précédée de deux sous-tests afin d'évaluer la performance des

participants à la reconnaissance de l'identité des visages de célébrités non échantillonnés. Au cours de la *tâche 1*, les 100 visages, précédés d'une croix de fixation, sont présentés pendant une seconde. Le participant doit choisir le nom de la célébrité correspondante parmi une liste de 5 noms de célébrités du même sexe (C.f. : *Figure 6*). Durant la *tâche intermédiaire*, afin de réduire au minimum le nombre de visages correctement identifiés par hasard, seuls les visages correctement identifiés à la tâche précédente sont présentés deux fois dans un ordre aléatoire. De la même manière, le participant doit choisir l'identité de chaque visage en sélectionnant le nom correspondant parmi une liste de 5 noms de célébrités du même sexe, aléatoirement sélectionnés parmi les célébrités correctement identifiées (C.f. : *Figure 6*).

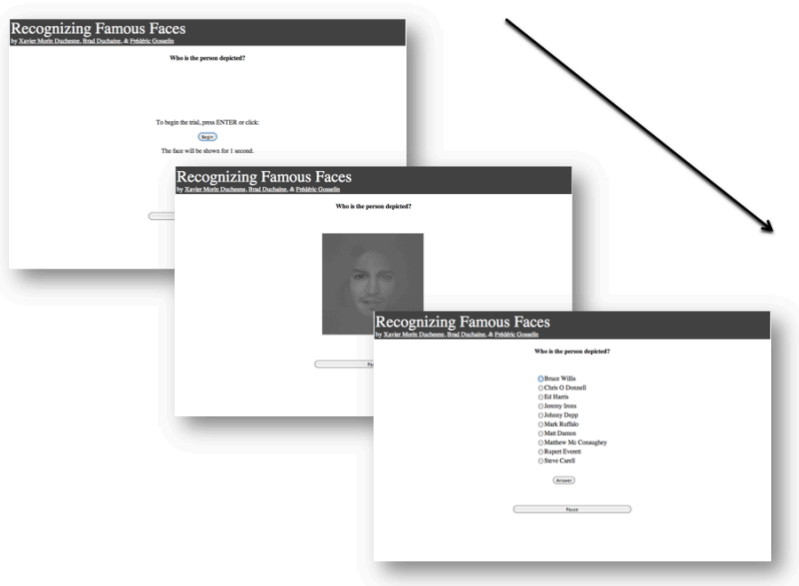


Figure 6. Illustration de la procédure expérimentale. Avant chaque essai, le participant est amené à fixer son attention au centre de l'écran où il doit cliquer sur un bouton « begin » qui tient lieu de croix de fixation. Le visage est présenté pendant une seconde, puis le participant doit identifier le visage en sélectionnant un nom parmi une liste de 5 noms de même genre.

Pour avoir accès à l'expérience principale, chaque participant doit avoir reconnu au minimum 5 visages de même sexe, et ce, 3 fois consécutives (une fois au cours de la *tâche 1* et

deux fois au cours de la *tâche intermédiaire*). Initialement, ce critère a été fixé à 20 visages (10 visages d'hommes et 10 visages de femmes). Cependant, afin de permettre à un plus grand nombre de participants se situant dans l'extrême gauche du spectre des habiletés de reconnaissance des visages de participer à l'expérience, ce critère a été ajusté.

Au cours de l'expérience principale, seuls les visages correctement identifiés selon la procédure spécifiée précédemment, sont utilisés. A chaque essai, un visage de célébrité, choisi de manière aléatoire, est échantillonné et présenté pendant une seconde. Le participant doit sélectionner l'identité du visage parmi une liste de 10 noms de célébrités du même sexe (*C.f. : Figure 6*). L'expérience principale comporte un total de 1000 essais et les participants ne sont soumis à aucune limitation de temps lors de l'identification des visages. En moyenne, l'expérimentation dure 4 heures, incluant les pré-expériences et l'expérience principale. Les participants peuvent prendre des pauses à tout moment en se déconnectant de leur session.

En fonction de l'exactitude des réponses des participants, le nombre de bulles révélant l'information visuelle est ajusté avec l'algorithme QUEST (Watson & Pelli, 1983) afin de maintenir le taux de bonne reconnaissance à 75%.

Résultats. En moyenne, les participants « normaux » ont reconnu 52,29 visages sur 100 (22-97 ; SD = 21,15) et ont eu besoin de 125,43 bulles (57-195 ; SD = 34,99) pour maintenir leur performances correctes à 75%. N.E. a reconnu 8 visages (5 visages d'hommes et 3 visages de femmes). Bien que N.E. ait reconnu un nombre suffisant de visages pour avoir accès à l'expérience principale, nous n'avons pas de données à l'expérience *Bubbles* pour cette participante. Les analyses ont donc été effectuées sur un total de 14 000 essais (14 participants « normaux » et 1000 essais par participant).

Pour chaque essai, *Bubbles* enregistre les masques appliqués à chaque bande de fréquences spatiales et la réponse des sujets correspondante à la tâche de reconnaissance. Les masques ayant permis une bonne reconnaissance sont affectés d'un poids positif alors que ceux ayant mené à de mauvaises réponses sont affectés d'un poids négatif. La somme des masques pondérés est effectuée. Cette série d'opération est à peu près équivalente à une régression linéaire multiple entre les masques de bulles et l'exactitude des réponses pour chaque participant. Elle permet de déterminer, pour chaque échelle de fréquence, quelles régions du visage permettent une bonne reconnaissance (Fiset & Gosselin, 2009). Le plan des coefficients de régression généré par cette opération est appelé une image de classification. Ces images de classification sont ensuite sommées pour chacun des essais et pour chacun des participants, afin d'obtenir une image de classification par bande de fréquences spatiales et pour l'ensemble des visages de célébrités. Les coefficients de régression sont sommés à travers les bandes de fréquences, transformés en scores z et l'image de classification est lissée en utilisant une fenêtre gaussienne avec un FWHM de 23,5482 pixels (Chauvin et al., 2005). Le *Pixel Test* permet de déterminer si l'information visuelle est significativement corrélée avec l'exactitude des réponses ($p < .05$ bilatéral; $z_{\text{crit}} = \pm 3,7568$; $Sr = 21749$ pixels).

L'image de classification révèle que l'utilisation des deux yeux, incluant les sourcils, ainsi que l'utilisation de la bouche et de la région basse du nez est significativement corrélée avec une bonne identification des visages célèbres. Autrement dit, les régions des yeux, des sourcils, de la bouche et du bas du nez permettent habituellement une bonne identification des visages lorsqu'elles sont révélées par les bulles (*Cf. : Figure 7*).

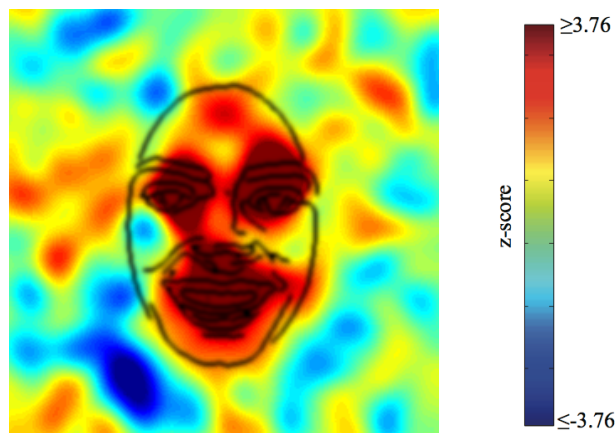


Figure 7. Image de classification illustrant la corrélation (score Z) entre les régions révélées par les bulles et l'exactitude des réponses des participants.

Une analyse similaire réalisée sur l'utilisation des fréquences spatiales indique que ce sont les bandes de fréquences spatiales moyennes (centrées sur ~12 cycles par largeur de visage) qui sont majoritairement utilisées (C.f. : Figure 8). Ainsi, il semble que les régions des yeux, des sourcils, de la bouche et du bas du nez soient les plus efficaces pour reconnaître l'identité des visages lorsqu'elles sont révélées en fréquences spatiales moyennes.

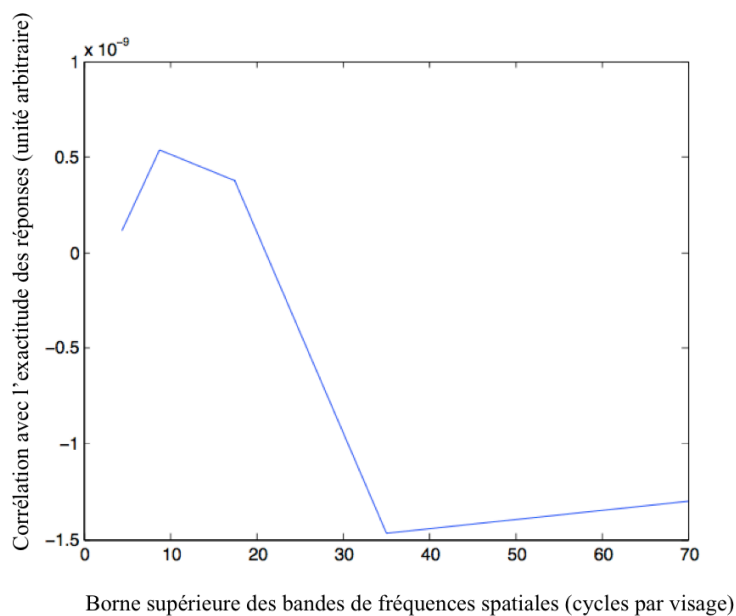


Figure 8. Corrélation (unité arbitraire) entre les bandes de fréquences spatiales (cycles par largeur de visage) révélées par les bulles et l'exactitude des 20 réponses.

Afin de préciser la relation entre la corrélation des régions utilisées et l'exactitude des identifications, et différentes mesures d'habiletés en reconnaissance des visages, nous avons effectué plusieurs régressions linéaires de « second ordre ». L'image de classification de « second ordre » résultant de la régression entre les images de classification individuelles et la performance des participants à la tâche *Bubbles* (i.e. le nombre de bulles nécessaire pour atteindre le pourcentage cible de réponses correctes de 75%) nous révèle que les participants ayant obtenu les meilleures performances semblent utiliser de façon majoritaire l'information de l'œil gauche et du côté gauche de la bouche (C.f. : *Figure 9 – image de gauche*). Ainsi, extraire l'information contenue dans l'œil gauche et le côté gauche de la bouche semble donc être une stratégie efficace puisqu'elle est corrélée avec de meilleures performances. Une analyse de « second ordre » similaire réalisée sur les bandes de fréquences indique que les hautes fréquences spatiales ($> \sim 35$ cycles par largeur de visage) sont davantage utilisées par les meilleures participants. Les meilleurs participants auraient donc tendance à extraire l'information de haute fréquence située dans la partie gauche du visage (C.f. : *Figure 10*).

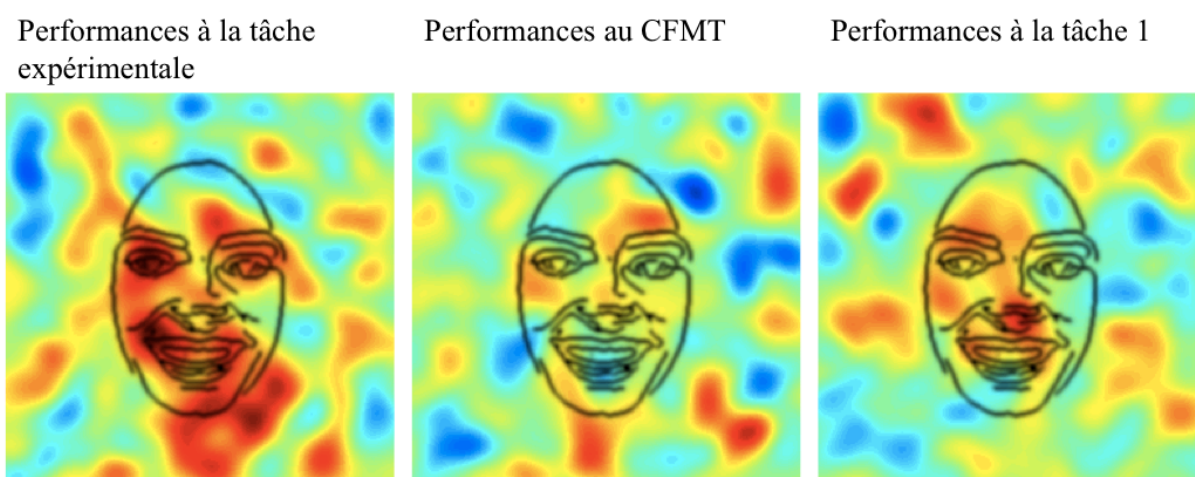


Figure 9. Images de classification de « second ordre » résultant de la régression entre les images de classification individuelles et la performance des participants à la tâche *Bubbles* (i.e. le nombre de bulles nécessaire pour atteindre le pourcentage cible de réponses correctes de 75% - image de gauche), la performance des participants au CFMT (image au centre), et à la tâche 1 (i.e. le nombre de visages reconnus durant la tâche 1 – image de droite). 21

Lorsque la régression de « second ordre » est réalisée sur la performance au CFMT, aucune région ne semble être particulièrement corrélée avec l'exactitude des réponses (*C.f. : Figure 9 – image au centre*). Il nous est donc impossible d'établir une relation entre les stratégies efficacement utilisées pour identifier les visages et les scores des participants au CFMT. En effet, il a été montré que la corrélation entre le nombre de bulles nécessaires pour atteindre le pourcentage de réponses correctes cible dans une tâche *Bubbles* et les scores au CFMT (plus précisément la portion des scores au CFMT non expliquée par les scores au *Horse Memory Test* (HMT), au *Cambridge Car Memory Test* (CCMT) et au *Cambridge Hair Memory Test* (CHMT)) est de .42, alors qu'elle est de .6 avec le *Cambridge Face Perception Test* (CFPT) et de .7 avec le *Glasgow Face Memory Test* (GFMT). Il n'est donc pas surprenant que nous ne soyons pas en mesure d'établir un lien entre les stratégies de reconnaissance des visages des participants et les scores au CFMT. Enfin, une régression de « second ordre » similaire réalisée sur les fréquences spatiales suggère que les meilleurs participants utilisent davantage les plus hautes fréquences spatiales.

L'image de classification résultant de la régression de « second ordre » effectuée sur la performance à la *tâche 1* permet de distinguer une corrélation positive entre la région du bas du nez et l'exactitude des réponses pour les participants ayant reconnus le plus grand nombre de visages, cependant cette corrélation n'atteint pas le critère de signification (*C.f. : Figure 9 – image de droite*). Les meilleurs participants semblent donc utiliser davantage les plus hautes fréquences spatiales (*C.f. : Figure 10*).

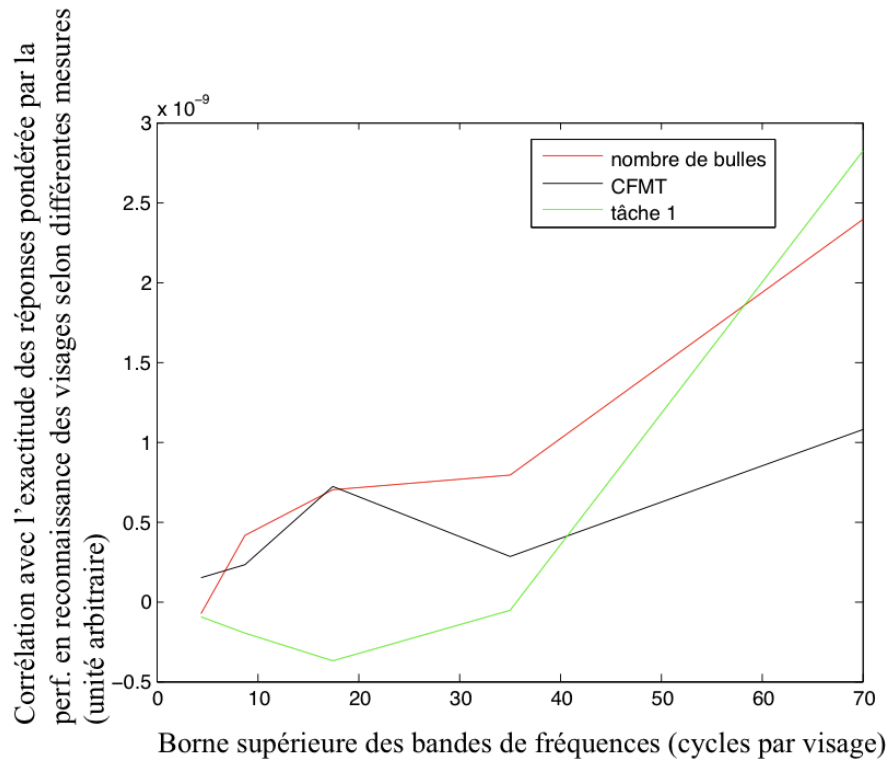


Figure 10. Régressions de « second ordre » effectuées sur l'utilisation des fréquences spatiales individuelles (cycles par largeur de visage) et la performance des participants à la tâche Bubbles (i.e. le nombre de bulles nécessaires pour atteindre le pourcentage cible de réponses correctes de 75% - en rouge), la performance au CFMT (en noir) et la performance à la tâche 1 (i.e. le nombre de visages reconnus à la tâche 1 – en vert).

Discussion

L'objectif principal de ce mémoire consistait à créer une plateforme en ligne à partir de laquelle il serait possible de tester les stratégies d'identification des visages familiers d'individus géographiquement dispersés et représentant la totalité du spectre des habiletés en reconnaissance des visages. Nous avons décrit la création d'une telle plateforme, la méthodologie de l'expérience *Bubbles* ainsi que la procédure expérimentale. Nous avons été en mesure de tester des individus dont les habiletés en reconnaissance des visages étaient très variables. En effet, la gamme des scores z obtenus par les participants « normaux » au *Cambridge Face Memory Test* s'étend de 1,39 écart-types en dessous de la moyenne à 1,83 écart-types au dessus. Rappelons que la population dite « normale » varie entre -2 et +2 écart-types par rapport à la moyenne en terme d'habiletés en reconnaissance des visages. Le nombre de visages reconnus par les participants au cours des pré-expériences reflète également cette diversité de l'échantillon testé. Nous avons également été en mesure de contacter, N.E., une participante présentant une prosopagnosie développementale. A ce jour, nous n'avons aucune donnée de N.E. pour l'expérience *Bubbles*, cependant, au cours des pré-expériences, elle a reconnu un nombre suffisant de visages pour pouvoir poursuivre la tâche principale. Ainsi, par la variabilité interindividuelle des performances en reconnaissance des visages des sujets ayant participé à cette étude, nous avons montré que l'expérience *Bubbles* de reconnaissance des visages de célébrités est un outil qui permettra de tester des individus de tout le spectre des habiletés en reconnaissance. De plus, la mise en ligne de cette expérience facilitera la collecte des données de participants géographiquement dispersés – notamment les participants situés aux extrémités du spectre des habiletés de reconnaissance des visages.

Comme nous l'avons vu dans l'introduction de ce mémoire, les études ayant examiné les différences de stratégies dans la reconnaissance de l'identité des visages présentent des méthodologies diverses. Dans cette section, nous ferons un historique des étapes de création de l'expérience *Bubbles* et nous détaillerons les résultats préliminaires des premières versions de l'expérience.

Pour les raisons dont nous avons parlé précédemment, dans un premier temps, c'est la tâche de reconnaissance de l'identité des célébrités de Butler et al. (2010) qui nous a semblée la plus adéquate et que nous avons reproduite en laboratoire. Les stimuli expérimentaux étaient alors créés à partir de 305 visages de célébrités ; méthodologie et procédure expérimentales étaient semblables. Chaque essai commençait par la présentation d'une croix de fixation, immédiatement suivie par la présentation d'un visage échantillonné (i.e. partiellement révélé à travers les bulles). Le participant devait alors tenter de retrouver l'identité de la célébrité ou une information sémantique pertinente pour considérer la célébrité comme reconnue. Suite à la réponse du participant, le même visage était présenté, cette fois-ci non échantillonné. A nouveau, le participant devait retrouver l'identité de la célébrité ou une information sémantique pertinente. Pour qu'un visage soit considéré comme reconnu, les deux réponses devaient être exactes. Ainsi, si le participant reconnaît correctement le visage non échantillonné, mais ne retrouve pas l'identité de la célébrité lors de la présentation du visage échantillonné, cela implique que les bulles ont masqué une région nécessaire à l'identification du visage. Au contraire, si le sujet identifie incorrectement à la fois le visage échantillonné et le visage non échantillonné, cela implique qu'il ne connaît pas l'identité du visage présenté - ou du moins qu'il est incapable d'extraire cette information à partir de l'image. Cependant, nous nous sommes heurtés à certaines difficultés méthodologiques pour l'étude des stratégies d'identification des participants

prosopagnosiques. En effet, l'ajustement du nombre de bulles afin d'atteindre une performance se situant entre le hasard et la perfection – condition nécessaire pour effectuer des régressions linéaires – ne peut se faire que dans le premier cas de figure (i.e. lorsque seul le visage non échantillonné a été correctement identifié). De plus, pour effectuer des régressions, un grand nombre d'essais utilisables – situés entre la performance plancher et la performance plafond – est nécessaire. Ainsi, malgré la très grande quantité d'essais auxquels les participants prosopagnosiques ont été soumis, ils n'ont pas reconnu assez de visages pour que leurs données soient utilisables.

Face aux difficultés précédemment citées, ainsi qu'au trop petit nombre de participants prosopagnosiques avec lesquels nous ayions été mis en contact à Montréal, l'expérience *Bubbles* en ligne a été créée. L'ajout de la *tâche 1* décrite dans la section méthodologie, a permis de s'assurer que l'identité des visages à partir desquels les stimuli expérimentaux étaient créés était connue des participants. Afin de démontrer l'adéquate adaptation de la tâche de reconnaissance des visages de célébrités pour des individus appartenant aux extrêmes du spectre de reconnaissance des visages, un participant prosopagnosique (G.S. a obtenu un score de -3,9 écart-types au CFMT), ainsi qu'un participant super-recognizer (J.J. a obtenu un score de 2,0 écart-types au CFMT-Long Form ; Russell, Duchaine & Nakayama, 2009) ont été testés. G.S a reconnu 39 visages sur 100 à la *tâche 1* alors que J.J. a reconnu 100 visages de célébrités. Au cours de l'expérience principale, G.S. et J.J. ont nécessité respectivement 170 et 79 bulles pour maintenir leur performances correctes à 75%. Les analyses décrites dans la section méthodologie ont permis de mettre en évidence les régions significativement corrélées avec l'exactitude des réponses pour chacun de ces deux participants (*C.f. : Figure 11*).

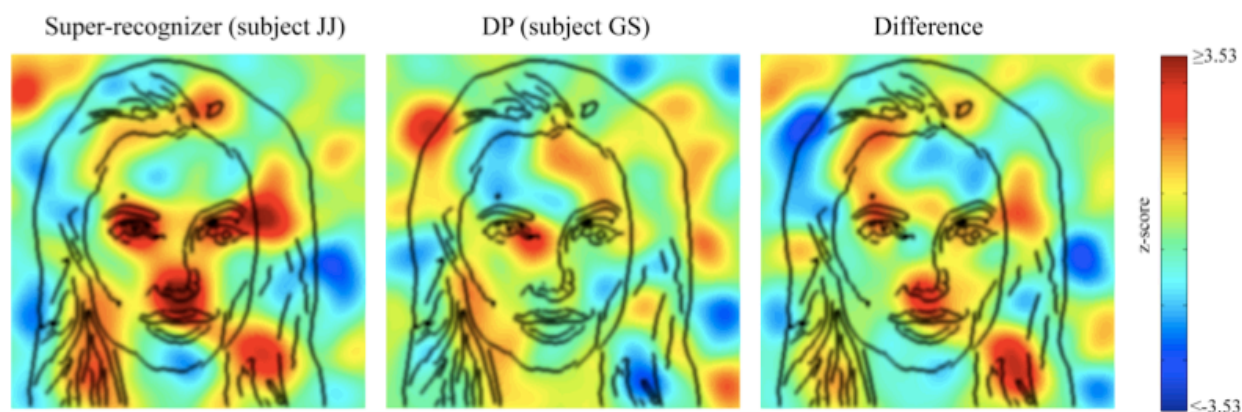


Figure 11. *Stratégies utilisées pour extraire l'information visuelle dans la tâche de reconnaissance de l'identité des visages de célébrités par J.J., un participant super-recognizer, et G.S., un participant prosopagnosique développemental, ainsi que le contraste entre ces deux images de classification. Pour les images individuelles, les régions en rouge foncé indiquent une corrélation significativement positive entre la région échantillonnée et l'exactitude des réponses, au contraire les régions en bleu foncé indiquent une corrélation significativement négative. Pour l'image de contraste, les régions en rouge foncé indiquent une plus grande utilisation de l'information par J.J. que par G.S. et les régions en bleu foncé, l'opposé.*

Pour J.J., la région de l'œil gauche, incluant le sourcil, ainsi que la région de la bouche, sont significativement corrélées avec une bonne identification des visages. Pour G.S., la région de l'œil gauche apparaît effectivement comme la région la plus corrélée avec l'exactitude des réponses, cependant la corrélation n'atteint pas le critère de significativité. Les différences de stratégie entre J.J. et G.S. se situent donc majoritairement au niveau de l'utilisation de l'information visuelle contenue dans la région de la bouche et dans la région de l'œil gauche, cependant ces différences n'atteignent pas le critère de significativité.

Ces résultats préliminaires semblent aller dans le sens de nos hypothèses. Sur le plan quantitatif, J.J. a obtenu de meilleures performances que G.S. puisqu'il a eu besoin d'un plus petit nombre moyen de bulles pour effectuer la tâche d'identification. Sur le plan qualitatif, les différences de stratégies entre J.J. et G.S. se situent dans l'extraction de l'information de l'œil gauche et de la bouche bien que ces différences soient peu marquées. Au contraire, l'utilisation de l'information par G.S. semble plus diffuse et aucune région ne semble se démarquer statistiquement. Enfin,

ces résultats suggèrent que la tâche *Bubbles* en ligne est adéquatement adaptée à l'investigation des stratégies de reconnaissance de l'identité des visages pour les participants dont les habiletés sont extrêmes. Les images de classification montrent également que les participants ont eu tendance à utiliser les informations extérieures aux visages pour en reconnaître l'identité. En effet, bien que ces régions n'atteignent pas le critère de significativité, il apparaît que J.J. utilise les informations du contour du visage et des cheveux du côté droit. Afin de masquer au maximum les informations extérieures au visage, nous avons ajouté des masques de forme ellipsoïde à chaque visage (C.f. : *Figure 12*).



Figure 12. Exemple de visage de célébrité utilisé pour la création des stimuli expérimentaux avant (image de gauche) et après l'ajout du masque ellipsoïde (à droite).

A nouveau, lorsque des participants « normaux » ont été testés, nous avons rencontré des difficultés d'ordre méthodologique. Les 12 participants « normaux » ont reconnu en moyenne 50,83 visages à la *tâche 1* (30-97 ; SD = 19,01) et ont nécessité en moyenne 705,25 bulles pour maintenir leurs performances correctes à 75% (102-4401 ; SD = 1219,77). A première vue, le nombre moyen de bulles nécessaires pour compléter l'expérience peut amener à penser que les participants testés présentaient de faibles habiletés en reconnaissance des visages. Pourtant, leurs

scores aux CFMT ainsi qu'au CFPT se situent dans la norme. Il semble que les participants ayant obtenu les moins bonnes performances à la tâche *Bubbles* (i.e. les participants ayant eu besoin du plus grand nombre de bulles) aient systématiquement reconnu de manière incorrecte un certain nombre de visages, non pas parce que les bulles ne révélaient pas l'information nécessaire à l'identification des visages (en effet à plus de 400 bulles, la totalité de l'information visuelle est habituellement révélée), mais parce que l'identité des visages de célébrités n'étaient pas connue. Bien que la probabilité que cela arrive soit très faible, certains visages auraient donc été reconnus par hasard à la *tâche 1*. Afin de réduire au minimum le nombre de visages correctement identifiés par hasard, la *tâche intermédiaire* a été créée. Ainsi, et tel que décrit dans la section méthodologie, pour être considéré comme reconnu, un visage doit être correctement identifié trois fois consécutives (une fois au cours de la *tâche 1* et deux fois au cours de la *tâche intermédiaire*). De cette manière, nous nous assurons que les visages échantillonnés représentent des célébrités dont l'identité est connue des participants.

Pour ce groupe de participants « normaux », les images de classification révèlent une utilisation efficace de l'information visuelle pour l'identification des visages dans des régions assez diffuses : les deux yeux, les sourcils ainsi que la région du nez sont utilisés pour identifier les visages (*C.f. : Figure 13 – image de gauche*).

L'image de classification de « second ordre » résultant de la régression entre les images de classification individuelles et les performances à la tâche *Bubbles* (i.e. le nombre de bulles nécessaires pour atteindre le pourcentage cible de réponses correctes de 75%) suggère que les participants ayant obtenu les meilleures performances utilisent davantage l'information de la région de l'œil droit (*C.f. : Figure 13 – image de droite*). Enfin, l'image de classification de

« second ordre » résultant de la régression entre les images de classification individuelles et la performance à la *tâche 1* suggère une plus grande utilisation des yeux et du nez chez les meilleurs participants (C.f. : *Figure 13 – image au centre*).

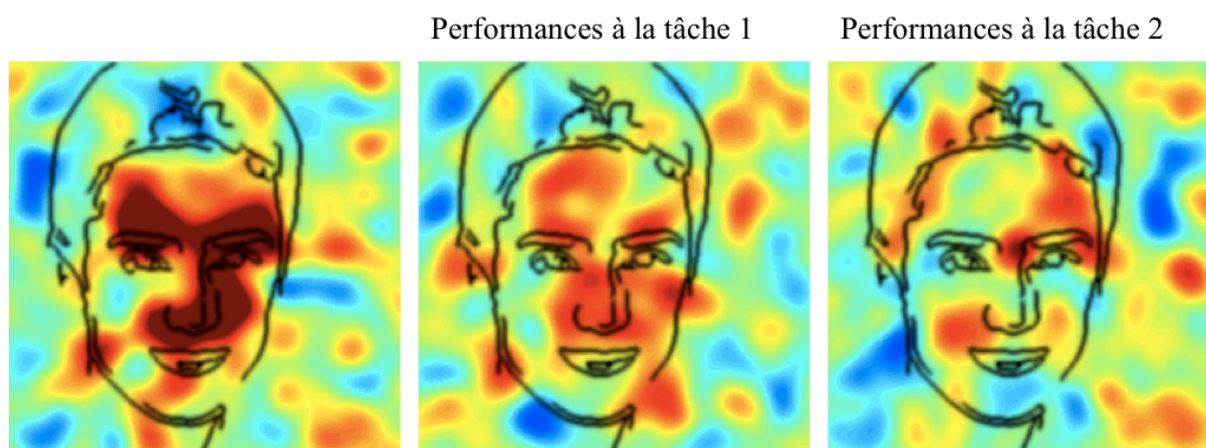


Figure 13. Régressions entre les régions échantillonnées et l'exactitude des réponses pour tous les participants (image de gauche) ; régressions de « second ordre » entre les images de classification individuelles et la performance à la tâche Bubbles (image de droite) ; régression de « second ordre » entre les images de classification individuelles et la performance à la tâche 1 (image au centre).

Enfin, afin de permettre à un plus grand nombre de sujets présentant une prosopagnosie développementale de participer à l'expérience, nous avons ajusté le nombre minimum de visages à reconnaître pour pouvoir accéder à l'expérience principale. En effet, au cours de la *tâche 1* et de la *tâche intermédiaire*, N.E. n'a reconnu que 8 visages (5 visages d'hommes et 3 visages de femmes et ce, 3 fois consécutives). Initialement, ce critère était fixé à 20 visages (10 visages d'hommes et 10 visages de femmes) ce qui n'aurait pas permis à N.E. de prendre part à l'expérimentation. Désormais, chaque participant devra avoir reconnu au minimum 5 visages de même sexe, et ce, 3 fois consécutives.

L'objectif secondaire de ce mémoire constituait à examiner les différences individuelles de stratégies d'utilisation de l'information visuelle pour la reconnaissance de l'identité des visages familiers. Pour la première fois, les résultats que nous avons obtenus montrent que la variabilité des habiletés en reconnaissance de l'identité des visages est associée à des différences de stratégies d'extraction de l'information visuelle. En effet, nous avons montré qu'en moyenne (i.e. pour la totalité des participants) à la fois les yeux, les sourcils, la bouche et le bas du nez sont efficaces pour l'identification des visages. Cependant, les meilleurs participants utilisent une stratégie différente et il semblerait qu'extraire l'information contenue dans le côté gauche du visage, plus particulièrement la région de l'œil gauche et le côté gauche de la bouche, soit plus efficace. Comme nous l'avions supposé, les différences d'habiletés de reconnaissance des visages sont donc corrélées avec des différences de stratégies. Comme l'ont suggérée Blais et al. (en préparation), la corrélation entre l'utilisation du côté gauche du visage et l'exactitude des réponses pour les meilleurs participants pourrait s'expliquer par une asymétrie hémisphérique. Il se pourrait que l'hémisphère droit soit plus dominant chez les meilleurs participants. En effet, il existe une asymétrie dans l'activation des régions dédiées au traitement des visages, et notamment des expressions faciales (Tamietto, Corazzini, de Gelder & Geminiani, 2006). Puisque 55 des visages utilisés présentent une expression de joie, il se pourrait que cela ait influencé les résultats dans le sens de ceux obtenus dans l'étude de Blais et al. (en préparation), c'est-à-dire vers une plus grande utilisation du côté gauche du visage.

Enfin, les résultats des analyses montrent un patron d'utilisation des fréquences spatiales opposé à nos suppositions : en tant que groupe, les participants utilisent majoritairement les informations de basses fréquence spatiale alors que les meilleurs participants utilisent l'information de haute

fréquence. A ce stade de l'expérimentation, nous ne formulerons aucune hypothèse pour expliquer ces patrons d'utilisation des fréquences spatiales.

Malgré les difficultés méthodologiques rencontrées et les nombreux ajustements nécessaires afin d'adapter adéquatement la tâche *Bubbles*, la grande variabilité des participants que nous avons testés en terme d'habiletés en reconnaissance des visages ainsi que les résultats que nous avons montré sont des preuves que l'expérience *Bubbles* en ligne est un outils pertinent pour étudier les stratégies d'identification des visages dans des populations d'habiletés variables. En effet, il s'agit du premier outil d'investigation systématique de la relation entre stratégies de traitement des visages et habiletés en reconnaissance des visages et il permettra dans le futur de définir les stratégies des prosopagnosiques développementaux, des sujets « normaux » ainsi que des super-recognizers. Les analyses effectuées pour la présente recherche permettent seulement de dresser des conclusions sur le lien corrélationnel qui existe entre l'utilisation de l'information visuelle et les habiletés en traitement des visages. A ce stade de l'investigation, il nous est impossible d'affirmer qu'aucune autre variable ne soit la cause de l'utilisation majoritaire d'une région particulière. En manipulant expérimentalement les régions qui se dégagent comme particulièrement efficaces pour la reconnaissance de l'identité des visages – l'œil gauche et le côté gauche de la bouche dans notre étude – nous pourrions préciser la nature du lien entre l'utilisation de certains attributs et les performances. Le conditionnement opérant semble être un outil adéquat pour tester le lien causal des stratégies de traitement de l'information sur les habiletés de reconnaissance des visages (Gosselin, F., Coüet-Garand, A., Dupuis-Roy, N. (2014). Greater usage of the left eye causes better gender discrimination performance, VSS). Avec l'utilisation du conditionnement opérant, il serait possible d'altérer expérimentalement la

stratégie utilisée par les participants en renforçant l'utilisation d'une région cible. Par exemple, nous pourrions forcer les participants prosopagnosiques à utiliser des stratégies plus proches de celles efficacement utilisées par les super-recognizers. Il en résulterait un apprentissage des stratégies efficaces de reconnaissance de l'identité des visages qui serait susceptible de perdurer dans le temps.

Ainsi, la plateforme *Bubbles* est d'ores et déjà un outil de recherche important qui permettra d'accroître les connaissances autour des différences individuelles de traitement de l'information visuelle et qui deviendra un outil clinique pertinent permettant d'accroître les habiletés en traitement des visages.

Références

- Bentin, S., DeGutis, J. M., D'Esposito, M., Robertson, L. C. (2007). Too Many Trees to See the Forest: Performance, Event-related Potential, and Functional Magnetic Resonance Imaging Manifestations of Integrative Congenital Prosopagnosia. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19 (1), 132-146.
- Blais, C., Fiset, D., Roy, C., Arguin, M., Gosselin, F. (en préparation). Individual differences in the visual extraction strategies of facial expressions.
- Blais, C., Roy, C., Fiset, D., Arguin, M., Gosselin, F. (2012). The eyes are not the window to basic emotions. *Neuropsychologia*, 50, 2830-2838.
- Butler, S., Blais, C., Gosselin, F., Bub, D., Fiset, D. (2010). Recognizing famous people. *Attention, Perception & Psychophysics*, 72 (6), 1444-1449.
- Chauvin, A., Worsley, K. J., Schyns, P. G., Arguin, M., Gosselin, F. (2005). Accurate statistical tests for smooth classification images. *Journal of Vision*, 5, 659-667.
- Clark, C. M., Gosselin, F. & Goghari, V. M. (2013). Aberrant patterns of visual facial information usage in schizophrenia. *Journal of Abnormal Psychology*.
- Duchaine, B. (2011). Developmental Prosopagnosia : Cognitive, Neural and Developmental Investigations. Handbook of Face Perception (Eds : Caldén, Rhodes, Haxby, & Johnson). Oxford University Press.
- Duchaine, B., Germine, L., Nakayama, K. (2006). Developmental Prosopagnosia: a window to content-specific face processing. *Current Opinion in Neurobiology*, 16, 166-173.
- Duchaine, B., Germine, L., Nakayama, K. (2007). Family resemblance: Ten family members with prosopagnosia and within-class object agnosia. *Cognitive Neuropsychology*, 24 (4), 419-430.
- Duchaine, B., Murray, H., Turner, M., White, S. & Garrido, L. (2010). Normal social cognition in developmental prosopagnosia. *Cognitive Neuropsychology*, 26, (7), 620-634.

Duchaine, B., Nakayama, K. (2005). Dissociation of Face and Object Recognition in Developmental Prosopagnosia. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17 (2), 1-13.

Duchaine, B., & Nakayama, K. (2006). The Cambridge Face Memory Test: Results for neurologically intact individuals and an investigation of its validity using inverted face stimuli and prosopagnosic participants. *Neuropsychologia*, 44, 576–585.

Ellis, H., D., Florence, M. (2007). Bodamer's (1947) paper on prosopagnosia. *Cognitive Neuropsychology*, 7(2), 81-105.

Fiset, D. & Gosselin, F. (2009). L'information visuelle efficace pour la reconnaissance des visages. In Barbeau, E., Jouvert, S., & Felician, O (Eds.). *Traitement et reconnaissance des visages: du percept à la personne*, (pp. 143-164). Paris: Solal.

Gosselin, F., Coüet-Garand, A., Dupuis-Roy, N. (2014). Greater usage of the left eye causes better gender discrimination performance, poster présenté au 14^e Congrès Annuel de la Vision Science Society, 21 Mai 2014.

Gosselin, F. & Schyns, P. G. (2001). Bubbles: A technique to reveal the use of information in recognition. *Vision Research*, 41, 2261-2271.

Harms, M., B., Martin, A., Wallace, G., L. (2010). Facial Emotions Recognition in Autisme Spectrum Disorder : A Review of Behavioral and Neuroimaging Studies. *Neuropsychol Rev*, 20, 290-332.

McConachie, R., H. (1976). Developmental prosopagnosia : A single case report. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 12(1), 76-82.

Nelson, C. A. (2001). The Development and Neural Bases of Face Recognition. *Infant and Child Development*, 10, 3-18.

Russell, R., Duchaine, B., Nakayama, K. (2009). Super-recognizers : People with extraordinary face recognition ability. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16 (2), 252-257.

Schyns, P. G., Bonnar, L., Gosselin, F. (2002). Show me the features ! Understanding recognition from the use of visual information. *Psychological Science*, 13, 402-409.

Spezio, M., L., Adolphs, R., Hurley, R., S.E., Piven, J. (2006). Analysis of face gaze in autism with 'Bubbles'. *Neuropsychologia*, 45, 144-151.

Susilo, T. & Duchaine, B. (2013). Advances in developmental prosopagnosia research. *Current Opinion in Neurobiology*, 23 : 423 -429.

Tamietto, M, Corazzini, L. L., de Gelder, B., Geminiani, G. (2006). Functional asymmetry and interhemispheric cooperation in the perception of emotions from facial expressions. *Experimental Brain Research*, 171 (3), 389-404.

Taschereau-Dumouchel, V., Rossion, B., Schyns, P. G. & Gosselin, F. (2010). Interattribute distances do not represent the identity of real-world faces. *Frontiers in Psychology*, 1, 159, 1-10.

Watson, A. B. & Pelli, D. G. (1983) QUEST: a Bayesian adaptive psychometric method. *Percept Psychophys*, 33 (2), 113-120.

Willenbockel, V., Sadr, J., Fiset, D., Horne, G. O., Gosselin, F., Tanaka, J. W. (2010). Controlling low-level image properties: The SHINE Toolbox. *Behavior Research Methods*, 42 (3), 671-684